



רוב הריסוס נעשה באביב ובקיץ, ובבוא גשמי הסתיו נשטפים חומרי ההדברה לנחלים | צילום: אלכסנדר קליין ©

### יעל דובובסקי

היחידה להנדסת סביבה, מים  
וחקלאות, הפקולטה להנדסה  
אזרחית וסביבתית, טכניון – מכון  
טכנולוגי לישראל

### מרים חודורקובסקי

היחידה להנדסת סביבה, מים  
וחקלאות, הפקולטה להנדסה  
אזרחית וסביבתית, טכניון – מכון  
טכנולוגי לישראל

### אוליבר אולסון

Institute of Sustainable and  
Environmental Chemistry,  
Leuphana Universität Lüneburg,  
Germany

### מתיאס גסמן

Institute of Sustainable and  
Environmental Chemistry,  
Leuphana Universität Lüneburg,  
Germany

### ערן פרידלר

היחידה להנדסת סביבה, מים  
וחקלאות, הפקולטה להנדסה  
אזרחית וסביבתית, טכניון – מכון  
טכנולוגי לישראל

## חומרי הדברה ותוצרי פירוקם – שטיפה באירועי גשם ראשוניים (first flush) לנחלי אגן החולה

גיליון אביב 2013 / כרך 4(1) / חקלאות, קיימות וסביבה

במזרה

3 בפברואר, 2013

### ציטוט מומלץ

דובובסקי י, חודורקובסקי מ, אולסון  
א ואחרים. 2013. חומרי הדברה  
ותוצרי פירוקם – שטיפה באירועי  
גשם ראשוניים (first flush) לנחלי  
אגן החולה. *אקולוגיה וסביבה* 4(1):  
24–26.

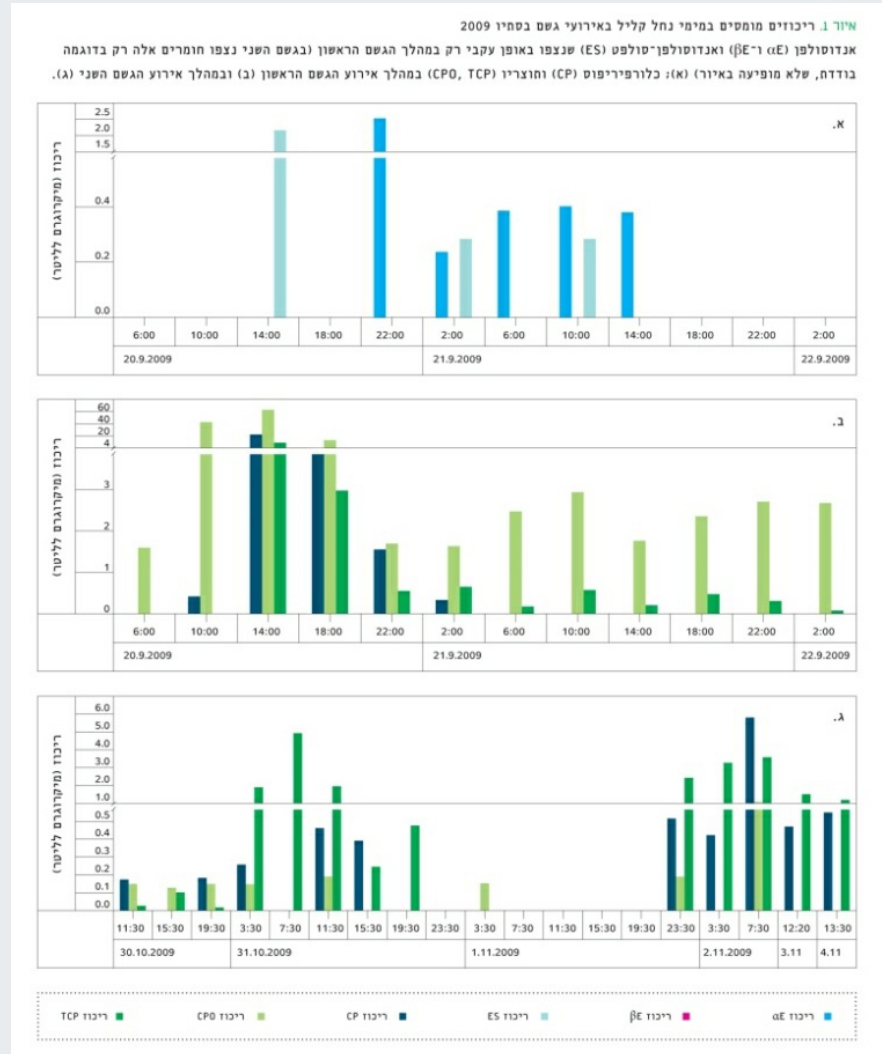
הידיעה מבוססת על מאמר שהתקבל לפרסום ב-*CLEAN – Soil, Air, Water*<sup>[4]</sup> ועל מאמר  
נוסף הנמצא בתהליכי סקירה מדעית<sup>[3]</sup>.

אף על פי ששנים רבות ידוע כי לעתים קרובות תוצרי פירוק של חומרי הדברה שורדים זמן רב יותר, ניידים יותר  
ולעתים אף רעילים יותר מתרכובות המקור, מחקרים קודמים בנושא שחרור חומרי הדברה ושטיפתם באירועי  
גשם באגני היקוות התמקדו בעיקר בחומרי ההדברה עצמם (תרכובות המקור) ולא בתוצרי הפירוק שלהם.

בעמק החולה, הנמצא באגן ההיקוות של הכינרת, מתקיימת פעילות חקלאית אינטנסיבית, הכוללת בין השאר  
שימוש בחומרי הדברה. במחקר זה נדגמו ארבע נקודות במערכת הנחלים שבעמק (גשר יוסף, נחל קליל, גשר  
מנרה בתעלה המערבית וגשר הפקק) במשך 14 חודשים, מרץ 2009 – אפריל 2010. בכל דוגמאות המים נמדד  
הריכוז המומס של שני חומרי ההדברה (קוטלי חרקים): כלורופיריפוס (chloropyrifos, CP) ממשפחת הזרחנים  
האורגניים ואנדוסולפן (α-β) ממשפחת האורגנו-כלורונים, ושל תוצרי הפירוק העיקריים שלהם:  
כלורופיריפוס-אוקסון (chloropyrifos oxon, CPO) וטרי-כלורופירידינול (trichloro-pyridinol, TCP) עבור  
כלורופיריפוס, ואנדוסולפן-סולפט (endosulfan sulfate) עבור אנדוסולפן.

אף על פי שעיקר הריסוס בחומרי הדברה אלה מתרחש בתקופת האביב ובתחילת הקיץ, תוצאות הדגימות הראו  
כי השטיפה המשמעותית שלהם אל הנחלים באגן ההיקוות מתרחשת רק עם גשמי הסתיו הראשוניים; לאחר  
שבכל הדגימות באביב ובקיץ היו הריכוזים בנחלים נמוכים מסף הכימות (0.1 מיקרוגרם לליטר), במהלך שני  
אירועי הגשם המשמעותיים הראשוניים של סתיו 2009 נצפו חומרי ההדברה הללו ותוצרי הפירוק שלהם בכל  
ארבע תחנות הדגימה. לעומת זאת, בהמשך תקופת החורף למרות הגשמים החזקים והממושכים יותר, ריכוזי  
הכלורופיריפוס והאנדוסולפן ותוצריהם היו נמוכים מסף הגילוי בכל הדגימות.

בשני אירועי הגשם הראשוניים היוו תוצרי הפירוק חלק משמעותי מסך חומר ההדברה שנשטף לנחלים (איור 1),  
דבר המעיד על פירוק משמעותי של חומרי המקור במהלך חודשי היובש שלאחר הריסוסים.



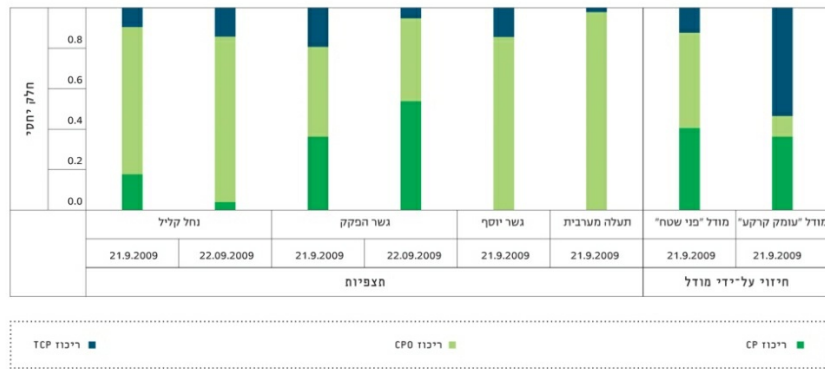
## איור 1

### ריכוזים מומסים במימי נחל קליל באירועי גשם בסתיו 2009

אנדוסולפן ( $\alpha$ E ו- $\beta$ E) ואנדוסולפן-סולפט (ES) שנצפו באופן עקבי רק במהלך הגשם הראשון (בגשם השני נצפו חומרים אלה רק בדוגמה בודדת, שלא מופיעה באיור) (א); כלורפיריפוס (CP) ותוצריו (CPO, TCP) במהלך אירוע הגשם הראשון (ב) ובמהלך אירוע הגשם השני (ג).

יתר על כן, כלורופיריפוס-אוקסון ידוע כתוצר פירוק עיקרי של כלורופיריפוס בתהליכי פוטוכימיה וחמצון האופייניים לפני השטח, ואילו טרי-כלורופירידינול הוא התוצר הדומיננטי של פירוק כלורופיריפוס בתהליכי פירוק ביולוגי ומיום (הידרוליזיה) המתרחשים בעיקר בתוך הקרקע [5,2,1]. בהתחשב בכך, בחינה של ההתפלגות בין תוצרי הפירוק השונים (איור 2) מצביעה על כך שככל הנראה, מקורו של חלק ניכר מהחומר שהגיע לנחלים במהלך אירוע הגשם הראשון הוא בתהליכי פירוק שהתרחשו על פני השטח ( $[CPO] > [TCP]$ ).

**איור 2** התפלגות ריכוזים ממוצעת של כלורופיריפוס (CP), כלורופיריפוס אוקסון (CPO) וטרי-כלורופירידינול (TCP) בדוגמאות המים בתחנות הדגימה במהלך שני ימי אירוע הגשם הראשון של סתיו 2009 (20-21 בספטמבר) שש העמודות השמאליות מתייחסות לריכוזים שנמדדו בארבע תחנות הדגימה, עמודה שביעית מציגה התפלגות מחושבת על פי מודל הכולל נאקציות של חמצון באור (photo-oxidation) על פני השטח בלבד (surface model), והעמודה האחרונה מתייחסת לתוצאות מודל הכולל רק תהליכי פירוק בעומק הקרקע (soil model). בתחנות גשר יוסף והתעלה המערבית לא נצפו תרכובות אלה במהלך יום הגשם השני.



## איור 2 התפלגות ריכוזים ממוצעת של כלורופיריפוס (CP), כלורופיריפוס אוקסון (CPO) וטרי-כלורופירידינול (TCP) בדוגמאות המים בתחנות הדגימה במהלך שני ימי אירוע הגשם הראשון של סתיו 2009 (20-21 בספטמבר)

שש העמודות השמאליות מתייחסות לריכוזים שנמדדו בארבע תחנות הדגימה, עמודה שביעית מציגה התפלגות מחושבת על פי מודל הכולל נאקציות של חמצון באור (photo-oxidation) על פני השטח בלבד (surface model), והעמודה האחרונה מתייחסת לתוצאות מודל הכולל רק תהליכי פירוק בעומק הקרקע (soil model). בתחנות גשר יוסף והתעלה המערבית לא נצפו תרכובות אלה במהלך יום הגשם השני.

תוצאות אלה עולות בקנה אחד עם הייחוד של תנאי האקלים בישראל. כיוון שבאקלים הים תיכוני שיא עונת הריסוס במדברי חרקים אלה מתרחש בתחילת העונה היבשה, ומאחר שההשקיה בחלק ניכר מהמטעים מתבצעת בצורה ממוקדת (טפטוף), ניתן להניח ששטיפת חומרי ההדברה לעומק הקרקע בחודשי הקיץ תהיה נמוכה יחסית. מכאן, שלאחר ריסוס צפויים חומרי ההדברה להיוותר תקופה ממושכת על פני השטח או קרוב להם, חשופים לקרינת השמש ולמחמצנים אטמוספריים (כגון אוזון ורדיקלים של הידרוקסיל). לאחר תחילת עונת הגשמים גוברת שטיפת חומרי ההדברה אל פנים הקרקע ואל הנחלים. ואכן, באירוע הגשם השני נמצאו יותר תוצרי פירוק האופייניים לתהליכי הידרוליזה ולפירוק ביולוגי (biodegradation) המתרחשים בתוך הקרקע.

תצפיות אלה נתמכות על-ידי מודל סימולציה תהליכי שפוחת עבור אזור זה [3,4]. המודל הראה כי רק על-ידי התחשבות בתהליכי פירוק בפני השטח בקיץ והתחשבות בפירוק בתוך הקרקע לאחר הגשם הראשון, ניתן לדמות בצורה טובה את פילוג הריכוזים של כלורופיריפוס ותוצרי פירוקו כפי שנצפו בנחלים בשני אירועי הגשם הראשונים.

בעקבות תופעת השטיפה הראשונה (first flush) נמצאו כלורופיריפוס, אנדוסולפן ונגזרותיהם במי הנחלים שנטרו באירוע הגשם המשמעותי הראשון בעונה, אך הריכוזים שנצפו היו מתחת לריכוזים המותרים בתקנות מי השתייה. עם זאת, בחלק מהמקרים היו ריכוזי כלורופיריפוס וכלורופיריפוס-אוקסון מעל לסף רעילות אקוטית לחסרי חוליות מימיים ולדגים, ולכן היו עשויים לפגוע באוכלוסייה המימית בנחלי אגן ההיקוות. יתר על כן, חשוב לציין כי במחקר הנוכחי נמדדו רק הריכוזים המומסים של מזהמים אלה, ובהתחשב במסיסות הנמוכה של שני חומרי המקור (כ-1 וכ-0.5 מג"ל עבור כלורופיריפוס ואנדוסולפן בהתאמה) ניתן להניח כי במהלך הגשמים הייתה עלייה נוספת בעומס חומרי ההדברה בנחל כתוצאה מנוכחות חומר ספוח על חומר חלקיקי מורחף.

לסיכום, המחקר הנוכחי מראה כי עמק החולה הוא מקור משמעותי של חומרי הדברה ותוצרי פירוק שלהם באגן ההיקוות של הירדן העליון. לשם הערכת ההשפעה הסביבתית של חומרי ההדברה הנשטפים אל הנחלים יש לבצע ניטור הן של חומרי ההדברה הן של תוצרי פירוקם, תוך שימת דגש מיוחד על דגימה ברזולוציית זמן גבוהה בעת הגשמים הראשונים. בהתחשב בתצפיות שהוצגו במחקר ובחשיבות של הפעילות החקלאית באזור, חשוב למצוא פתרונות שיצמצמו את השימוש בחומרי הדברה מבלי לפגוע בייצור החקלאי, כדוגמת הפרויקט של [חקלאות ידידותית יותר לסביבה – פרויקט יישומי של הדברה משולבת בעמק החולה](#).

## מקורות

- .1 Aston LS and Seiber JN. 1997. Fate of summertime airborne organophosphate pesticide residues in the Sierra Nevada mountains. *Journal of Environmental Quality* **26**(6): 1483-1492
- .2 Harnly M, McLaughlin R, Bradman A, et al. 2005. Correlating agricultural use of organophosphates with outdoor air concentrations: A particular concern for children. *Environmental Health Perspectives* **113**(9): 1184-1189
- .3 Khodorkovsky M, Gassmann M, Friedler E, et al. Wash off of pesticides and transformation products into streams in semi-arid agricultural regions during first rain events: The Kalil stream (Israel) as a case study. Submitted
- .4 Olsson O, Khodorkovsky M, Gassmann M, et al. Fate of pesticides and their transformation products: First flush effects in a semiarid catchment. *CLEAN – Soil, Air, Water*. In press
- .5 Walia S, Dureja P, and Mukerjee SK. 1988. New photodegradation products of chlorpyrifos and their detection on glass, soil and leaf surface. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* **17**: 183-188